



(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成7年(1995)5月19日

審査請求 未請求 請求項の数1 OL (全 4 頁)

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 モータと負荷が、周期的なトルク外乱を発生する様な減速機を介して結合された系の防振制御方法において、

トルクリップルを打ち消す補正信号のゲインと発生周期を、負荷側動作範囲内の、振動が小さくなる異なった少なくとも2箇所におけるゲイン、位相より算出し、これにより負荷の動作範囲全域において振動を抑制する補正信号を求め、該補正信号をモータの回転に同期させてモータのトルク指令に加えることを特徴とする防振制御方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、ロボットなど、モータと負荷が減速機を介して結合された系の防振制御方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 一般に、モータと負荷が減速機を介して結合された場合に、減速機の組込み精度等により減速機内部で有害な加振力（以下トルクリップルという）が発生することがある。モータの回転速度により決まるトルクリップルの発生周波数が、減速機のパネ定数などにより決まる機械系の固有振動数と一致することにより負荷が振動し、高速かつ高精度な制御ができないという問題がある。そこで、従来、図3に示すような、モータ4がパネ定数 $k_1$ のパネ7でハーモニック減速機9と、また負荷10がパネ定数 $k_2$ のパネ8でハーモニック減速機9と結合されているようなモデルにおいて、ハーモニック減速機9が発生するモータ回転数の2倍の周期のトルクリップル ( $Trip = F_0 \sin 2\omega t$ ) に対し、モータ4の回転周期に同期させてフィードフォワード的に補正信号 ( $Tcomp = A \sin 2\omega t$ ) を加えることにより防振制御を行なっている（『ロボットの防振制御に関する研究」、日本機械学会講演論文集、No. 860-1 (1986)）。また、特開昭61-98416号は、モータに付いている速度検出器の他に負荷側にも速度検出器を取り付け、この速度検出器の速度信号に対して適当な補償を行なってサーボ制御装置にフィードバックすることにより、負荷側の振動を制御するものである。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、ハーモニック減速機が発生するトルクリップルの発生回数は厳密に言えば、モータ回転数の2.0倍でなく、ハーモニック減速機の取付方により次のように決まる。Rをハーモニック減速機の減速比とすると、トルクリップル発生回数は、モータ1回転に対し $2(1-1/R)$ 、 $2.0$ 、 $2(1+1/R)$ のいずれかとなる。例えば、減速比 $R=100$ とすれば、モータ1回転に対しトルクリップル発生回数は、 $1.98$ 、 $2.0$ 、 $2.02$ のいずれかとな

る。したがって、負荷の可動範囲が広い場合や、減速比が大きな場合には、初期設定でトルクリップルと補正信号の位相を一致させていても、モータの回転につれて両者の周波数差により $\sin$ 波の位相が徐々にずれ、ついには両者の位相が大幅にずれて逆に加振してしまうという問題がある。さらに、場合によっては、動作途中でトルクリップル発生回数が増加することも考えられ、同様の問題が発生する恐れがある。また、特開昭61-98416号では、速度検出器が余分に必要のため、ロボット等が高価になるという欠点がある。本発明の目的は、負荷側の動作範囲全域において減速機が発生するトルクリップルを、速度検出器等のハードウェアを追加することなく簡単な構成で十分に打ち消すことが可能な防振制御方法を提供することにある。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために、本発明の防振制御方法は、トルクリップルを打ち消す補正信号のゲインと発生周期を、負荷側動作範囲内の、振動が小さくなる異なった少なくとも2箇所のゲイン、位相より算出し、これにより負荷の動作範囲全域において振動を抑制する補正信号を求め、該補正信号をモータの回転に同期させてモータのトルク指令に加えるものである。

## 【0005】

【作用】 したがって、負荷側の動作範囲全域において減速機が発生するトルクリップルを十分に打ち消すことが比較的簡単な構成で可能となり、高速かつ高精度な制御が可能となる。さらに、トルクリップル発生回数の変化等に対しても負荷の動作範囲内の測定点を増加させることにより、高精度な制御が可能となる。

## 【0006】

【実施例】 次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。図1は本発明の一実施例を示す制御系のブロック図、図2は本実施例における補正信号 $Tcomp$ の求め方を示すグラフである。本実施例は図3のモデルに対して適用したもので、位置ループ制御器1と速度ループ制御器2とトルク制御器3と位置検出器5と微分器6からなっている。 $\theta_{ref}$ はサーボモータ4の角度指令、 $\theta$ は位置検出器5より得られるモータ角度、 $\omega_{ref}$ はモータ角速度指令で、 $\omega$ はモータ角速度で、モータ角度 $\theta$ を微分器6で微分することにより得られる。トルクリップルの補正信号 $Tcomp$ は速度ループ制御器2から出力されるトルク指令に加算される。減速機9が発生するトルクリップルを打ち消す補正信号 $Tcomp$ は以下の方法で求める。まず、負荷10に図示しない加速度ピックアップ等の振動検出器を取り付け、減速機トルクリップルによる負荷10の振動を測定する。次に、補正信号 $Tcomp$ を次式(1)のように定義してトルク指令に加える。

3

4

$$T_{comp} = A \sin 2(\omega t + \alpha) \quad \dots\dots (1)$$

負荷側動作範囲内の振動が小さくなる2点（ここでは負荷側動作開始地点と負荷側動作終了地点の両端）でのゲインAと初期位相 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ を求める。なお、ゲインは一定とする。よって、位相 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ よりモータ1回転\*

\*あたりの平均的なトルクリップル発生回数 $\lambda$ と、負荷10の動作開始点での初期位相 $\alpha 1$ より最終的な補正信号 $T_{comp}$ を(2)式のように求めることができる。  
【0007】

$$T_{comp} = A \sin \lambda(\omega t + \alpha 1) \quad \dots\dots (2)$$

これを、図2を用いて説明する。横軸に負荷の動作量（モータ4の回転数）を、縦軸にモータ1回転に対するトルクリップルの発生回数が2.0回の場合と1.98回の場合との位相の変化（位相の差）をとる。トルクリップルの発生がモータ1回転に対し2.0回であれば横軸と重なり、1.98回（ハーモニック減速機の減速比 $R=100$ ）であれば、図中点線のような直線となる。ところが、実際には図中実線（曲線）のような場合が多く、(1)式の補正信号 $T_{comp}$ を用いて負荷10の動作開始点で振動が小さくなるゲインAと位相 $\alpha 1$ 、および動作終了地点で振動が小さくなる位相 $\alpha 2$ を求める。位相 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ よりモータ1回転あたりの平均的なトルクリップル発生回数 $\lambda$ を求め、最終的な補正信号 $T_{comp}$ を求める。補正信号 $T_{comp}$ の位相の変化を図2に実線（直線）で示す。上記の方法で求めた補正信号 $T_{comp}$ を、モータ4の回転に同期させてトルク指令に加えることにより減速機トルクリップルを打ち消し、負荷6の振動を抑制することができる。なお、ここでは負荷10の動作範囲の2点より補正信号 $T_{comp}$ を求めたが、さらに数点をとり、最小二乗法でトルクリップル発生回数 $\lambda$ や初期位相 $\alpha 1$ を近似すれば、より高精度な防振制御が可能となることは言うまでもない。また、ここでは、ハーモニック減速機について述べたが、周期的なトルクリップルを発生する減速機であれば同様にトルクリップルの補償が可能である。

【0008】

10

20

30

【発明の効果】以上説明したように本発明は、トルクリップルを打ち消す補正信号のゲインと発生周期を、負荷側動作範囲内の、振動が小さくなる異なった少なくとも2箇所のゲイン、位相より算出し、これにより負荷の動作範囲全域において振動を抑制する補正信号を求め、該補正信号をモータの回転に同期させてモータのトルク指令に加えることにより、負荷側の動作範囲全域において減速機が発生するトルクリップルを速度検出器等のハードウェアを追加することなく十分打ち消すことが可能となり、高速かつ高精度な制御が可能となる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例の制御系のブロック図である。

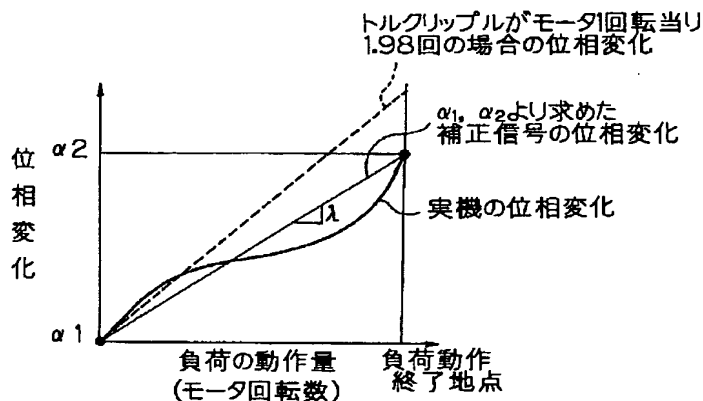
【図2】図1の実施例における補正信号 $T_{comp}$ の求め方を示すグラフである。

【図3】振動モデルを示す図である。

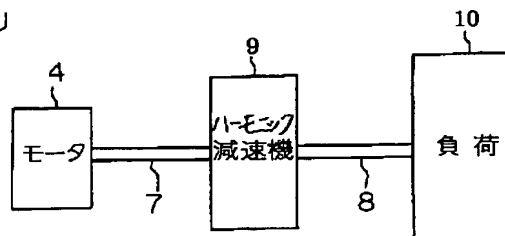
【符号の説明】

- 1 位置ループ制御器
- 2 速度ループ制御器
- 3 トルク制御器
- 4 サーボモータ
- 5 位置検出器
- 6 微分器
- 7, 8 パネ
- 9 減速機
- 10 負荷

【図2】



【図3】



(4)

【図1】

